

УДК 622.24.063

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук

(Україна, Харків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»),

М.В. ТКАЧЕНКО

(Україна, Полтава, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка)

М.Я. БУРОВА

(Україна, Харків, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ СИТ СИСТЕМ РЕГЕНЕРАЦІЇ БУРОВОГО РОЗЧИНУ

Вступ. Буріння нафтових і газових свердловин супроводжується циркуляцією бурового розчину, яка промиває вибій і виносить на поверхню вибурений шлам.

Очищення і регенерація бурового розчину – важливий компонент циркуляційних систем бурових установок. Потрапляючи в буровий розчин частки вибуреної породи негативно впливають на його основні технологічні властивості, а, отже, і на техніко-економічні показники буріння, тому очищенню бурових розчинів від шкідливих домішок приділяють особливу увагу [1].

Методи очищення промивальної рідини від шламу можна класифікувати таким чином:

- природне осаджування (жолобна система та відстійники);
- механічні (сита);
- гідравлічні (центрифугування в гідроциклонах і центрифугах);
- фізико-хімічні (введення флокулянтів і розчинників);
- комбіновані (поєднання наведених методів).

Вібросито є обов'язковим елементом сучасних систем очищення бурового розчину. Бурові комплекси, як правило, оснащені вібраційними ситами, кількість яких на одному верстаті іноді досягає 6 одиниць. Вібросито очищає розчин від грубих частинок вибуреної породи крупністю понад 70-80 мкм. Крім того, вібросита готують буровий розчин до наступного більш глибокого очищення гідроциклонними шламовідділювачами та центрифугами [2].

Українські бурові підприємства в останні півтора десятиліття активно оснащувалися імпортними віброситами, головним чином американського виробництва. Нещодавно з'явилися більш дешеві аналоги з Китаю. Частина бурових комплектується обладнанням вітчизняного виробництва, зокрема віброситами СВЛ з лінійними коливаннями виробництва ТОВ «Укрнафтозапчастина» [6].

Вітчизняний та закордонний досвід використання вібраційних сит показує, що підвищення питомої продуктивності та ефективності тонкого грохочення є актуальним завданням не лише для очищення та регенерації бурового розчину, але і при переробці багатьох видів корисних копалин, включаючи неметалічні, металічні, горючі та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В галузі теорії вібраційних машин слід виділити роботи І.І. Блехмана та Е.Е. Лавендела, в галузі прикладних питань ситових грохотів – І.І. Биховського, Л.А. Вайсберга, Н.Д. Анахіна, В.А. Баумана, Р.Ф. Нагаєва, Д.А. Плісса та Г.Є. Фельдмана. Проблемами очищення бурових розчинів займалися І.Н. Резніченко, Ю.М. Басаригін, Ю.М. Путівців, С.А. Рябоконь, В.І. Рябченко, А.А. Добік і закордонні вчені М. Бінгам, В. Кагл, Л. Вільдер і Л. Хоберок [1-5, 15-22].

Встановлено, що підвищення ступеню очищення бурового розчину циркуляційною системою в цілому та її першим рівнем очищення – буровим віброситом зокрема обмежується необхідною пропускною спроможністю. Проведений аналіз залежностей пропускної спроможності вібросит показав, що вона сильно зменшується із зменшенням розміру вічка сітки, а при однакових властивостях бурового розчину та шламу істотно збільшується при збільшенні амплітудного значення віброприскорення рами та висоти шару розчину на сітці. У деяких роботах наголошується залежність пропускної спроможності вібросит від форми траєкторії руху рами.

На підставі проведеного аналізу конструкцій грохотів і бурових вібросит визначено тенденції модернізації вібросит у напрямі збільшення їх пропускної спроможності.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Мінімальна ступінь очищення бурового розчину регламентується його седиментаційною стійкістю. А саме, при зупинці циркуляції бурового розчину шлам повинен утримуватися у розчині, не осідати на вибій, викликаючи ускладнення при бурінні свердловини. Швидкість проходки істотно підвищується, енергетичні витрати на буріння і кількість використаних доліт істотно знижуються з підвищенням ступеня очищення бурового розчину аж до видалення частинок шламу розміром у 10 мікрон. Система очищення бурового розчину циркуляційної системи, в якій вібросита стоять першими і багато в чому визначають ступінь очищення, повинна забезпечувати потрібну пропускну здатність. Вітчизняні вібросита (наприклад, компанії «Укрнафтозапчастина») дають недостатню очистку, так як видаляють тільки перші відсотки маси шламу внаслідок великого вічка сітки, якою вони оснащені. Застосування більш дрібних сіток призводить до зниження пропускної спроможності вібросит (а, отже, і продуктивності регенераційної системи) нижче допустимого значення. Слід зазначити, що закордонні вібросита, наприклад фірм Derrick та Swaco, на аналогічній сітці забезпечують більшу пропускну здатність. Таким чином, дослідження конструкцій вібраційних сит з метою оптимального їх вибору для конкретних умов та аналіз основних напрямків удосконалення їх конструкцій з метою підвищення їх пропускної спроможності є актуальним питанням сьогодні.

Мета роботи – це, по-перше, на основі аналізу сучасних конструкцій вібраційних сит, узагальнення та класифікація за технологічними та конструктив-

ними ознаками, що уможливить раціональний вибір бурових вібросит для конкретних умов експлуатації на буровій установці та спростить вибір прийнятнього варіанта комплектуючого обладнання при оснащенні нових та існуючих циркуляційних систем бурових установок; по-друге на основі аналізу наукової та патентної літератури виявити перспективні напрями вдосконалення конструкцій бурових вібросит.

Основний матеріал і результати. Вібраційне сито (вібросито, грохот) – (англ. "Shale shaker", "vibrating screen") просіювальний апарат, що застосовується в різних галузях промисловості (нафтовій, гірничій, харчовій та ін.). Термін «вібраційне сито» при цьому частіше застосовують до установок, які використовуються в нафтовій промисловості. Термін «грохот» частіше використовується по відношенню до гірничого обладнання в технологіях збагачення корисних копалин.

Вібраційні сита, призначені для нафтової промисловості, застосовуються для очищення бурового розчину від вибуреної породи (шламу). Крім того, існують спеціальні застосування вібраційних сит, такі як відновлення кольматуючих добавок, обважнення бурового розчину та ін.

Кількість вібраційних сит, якими комплектується бурова установка, залежить від обсягу бурових робіт, їх інтенсивності, характеристик вибуреної породи. Відповідно до цього вибирають вібросито з певними параметрами – розмір, пропускна здатність та ін.

Характерними конструктивними і режимними характеристиками вібросит є переливна висота, площа сита, режимні параметри коливального руху.

Вібраційні сита в системі очистки бурового розчину працюють за схожою технологією: вихідний струмінь бурового розчину зі свердловини подають у спеціальну ємність для живлення, швидкість руху бурового розчину знижується, відбувається рівномірна, поступова видача розчину на сітку. Коливальний рух надають рамі, в яку вмонтовано сито. Надрешітний продукт (породний шлам) виводиться через шнековий пристрій в шламоприймач. Підрешітний продукт (очищений буровий розчин) вивантажується в ємність, так званого очисного блоку. Далі можлива додаткова очистка в гідроциклонах і осадовій центрифугі, після чого пульпа бурового розчину подається для подальшого використання в циркуляційну систему бурової установки.

Конструктивно вібросита мають наступні подібні елементи:

- основа;
- піддон, необхідний для збору просіяного розчину;
- розподільник потоку і приймач;
- віброграма;
- сітка;
- вібратор;
- амортизатор.

Ситові панелі, вібросит різних виробників можуть здійснювати просію-

вання особливим чином: віброрама може бути розташована горизонтально або на похилій площині, її рух (вібрація) може відбуватися на основі зворотно-поступальних рухів, за прямою, еліпсоїдною або комбінованою траєкторією.

Продуктивність вібросита залежить також і від виду шламу – так, якщо він переважно складається з піску, міцних нерозмокаючих порід, процес просіювання буде швидшим. Якщо ж шлам представлений грузлими (клейкими) глинами, просіювання уповільнюється. Ефективність пристрою зростає в залежності від відрізка часу, який шлам буде перебувати на сітці. Для підвищення ефективного просіювання в практиці очистки бурового розчину використовують такі прийоми: збільшують довжину сітки; знижують швидкість потоку; зменшують кут нахилу сітки; змінюють напрямок переміщення частинок; зменшують амплітуду коливань сітки; одночасно застосовують в конструкції кілька сіток.

Пропускна здатність, а також глибина і ступінь очищення, є основними показниками якості роботи вібросита і залежать вони в першу чергу від робочого стану вібруючої сітки та її виду.

Ситові панелі вітчизняного виробництва у віброситі, виконуються з нержавіючої сітки з наступними розмірами вічок: $0,7 \times 2,3$; $1 \times 2,3$; 1×5 ; $0,16 \times 0,16$; $0,2 \times 0,2$; $0,25 \times 0,25$; $0,4 \times 0,4$; $0,9 \times 0,9$; $1,6 \times 1,6$; 2×2 і 4×4 мм.

Довжина сітки вібросит для очищення бурового розчину складає, як правило, не більше 2,6 м, ширина – не більше 1,3 м

Для класифікації вібросит (рисунк 1) нами взято їх основні функціональні частини: 1. Тип сітки. 2. Тип коливальних рухів. 3. Кількість рівнів очищення. Наведений перелік класифікаційних ознак при потребі може бути розширений.



Рис. 1. Класифікація вібраційних сит

За типом установлюваних сіток розрізняють каркасні та натяжні вібраційні сита. На сьогодні більшість виробників віддають перевагу каркасним сіткам, тому що при їх виробництві сила натягу задається заводом-виробником, що виключає «людський фактор» при її установці (коли оператор може перетягнути або недотягнути сітку). Також каркасні вібросита вважаються більш довговічними і надійними.

За типом коливань розрізняють колові (рис. 2, а), лінійні (рис. 2, г) й еліптичні сита. Останні ж, в свою чергу, підрозділяються на незбалансовано-еліптичні (рис. 2, б), збалансовано-еліптичні (рис. 2, в) та прогресивно-еліптичні.

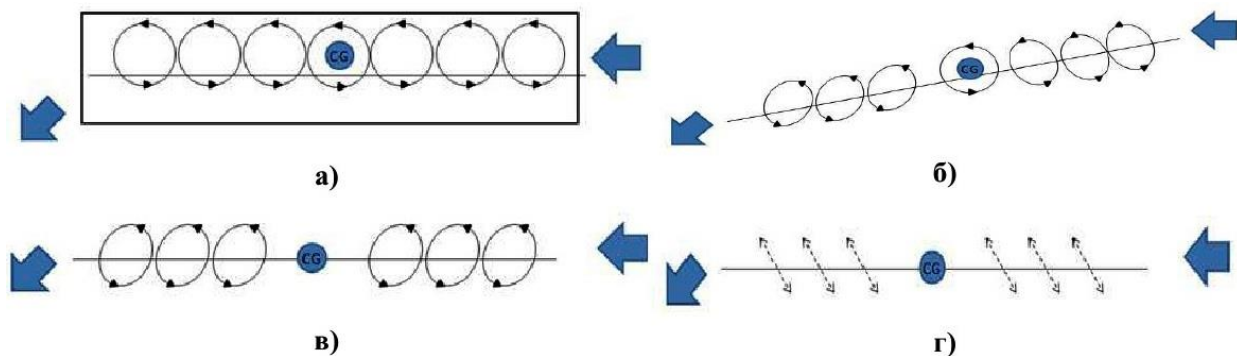


Рис. 2. Траєкторії руху вібросит систем регенерації бурового розчину:
а – колова; б – незбалансовано-еліптична; в – збалансовано-еліптична; г – лінійна

Тип коливань, який використовується на віброситі, впливає на якість просіювання, швидкість транспортування вибуреної породи, швидкість руйнування ситополотна та ступінь деградації вибуреної породи на ситополотні (ступінь руйнування породи на ситі). Практика показує, що при лінійному типі коливань пропускна здатність сита за промивальною рідиною (просочування) та по шламу (швидкість винесення) – високі. Збалансовано-еліптичні коливання дозволяють краще осушувати шлам, менше впливають на його руйнування на ситополотні та призводять до збільшення терміну служби сітки. [8, 9]

Отримують лінійні коливання наступними способами:

- встановлення двох вібрودвигунів, вали яких обертаються в різні сторони на віброрами так, щоб вісь між вібрودвигунами, проходила через центр ваги; це дозволяє отримати рівномірні гармонійні коливання по всій поверхні сита;
- встановлення двох вібрودвигунів, нахилених в одній площині, які обертаються в різні сторони по боках від віброрами.

Збалансовано-еліптичний тип коливань можна отримати наступними способами:

- встановлення вібраторів, що обертаються в різних напрямках, по боках від віброграми;
- запатентований компанією M-I SWACO спосіб використання третього вібрودвигуна: два вібратора задіяні, коли необхідно отримати лінійний тип коли-

вань, третій вмикається в роботу при необхідності отримати збалансовано-еліптичний тип коливань віброрами. Така конструктивна особливість дозволяє розширити діапазон використання вібросита без зміни ситополотен при проходженні порід різних типів (наприклад, при очищенні промивальної рідини, яка містить значну кількість піску використання еліптичних коливань, а при збільшенні в ній вмісту глини – лінійної траєкторії руху). Залежно від того, яка першочергова поточна задача стоїть перед системою очищення (якість видалення твердої фази чи обробка великого об'єму розчину) бурова бригада визначає, використання еліптичного чи лінійного режиму є більш оптимальним [10].

Незбалансовано-еліптичні коливання отримують встановленням одного вібродвигуна поза центром тяжіння віброрами.

Колові коливання можна отримати встановленням одного вібродвигуна в центрі ваги вібраційної рами. При цьому отримують рівномірні гармонічні коливання у всіх точках віброрами [8, 9].

За кількістю рівнів очищення розрізняють однорівневі, дворівневі та трирівневі вібраційні сита. Найпоширенішими типами сит є однорівневі. Основна їх перевага – наглядність процесу очищення та зручний контроль ступеня зносу сітки.

Дворівневі сита застосовують для збільшення площі просіювання бурового розчину, не збільшуючи займану обладнанням площу.

Трирівневі сита застосовуються і для збільшення площі просіювання, і для відновлення різних добавок в буровий розчин. Збільшення кількості рівнів ситополотен є запорукою ефективного очищення, оскільки відбувається ступеневе очищення промивальної рідини – на верхньому рівні видаляються тверді частинки більшого діаметру, на другому – меншого, на третьому ще меншого. Отож, кількість фракцій, на які розділяється промивальна рідина на віброситі, рівна кількості рівнів ситополотен плюс один. На всіх трьох рівнях встановлюються сітки різного розміру.

Аналіз основних напрямків вдосконалення вібраційних сит показав, що можна виділити наступні основні моменти:

1. Перехід від гнучких пластикових ситових касет до каркасних ситовим касет;
2. Застосування вібросит в складі ситогідроциклонних сепараторів;
3. Підвищення ефективності очищення бурового розчину за рахунок зміни типу і частоти коливань;
4. Використання коливань, що відрізняються від гармонійних;
5. Використання завантажувального бункера.

Перший напрямок у розвитку вібросит – перехід від гнучких пластикових ситових касет до каркасних ситовим касет. При виготовленні гнучких ситових касет для підвищення їх довговічності при очищенні бурових розчинів дрібнопориста сітка рівномірно, по всій поверхні, термічно спікається з нижньою крупною сіткою за допомогою пластмасової решітки. Касета при пориві окремих вічок може бути відремонтована шляхом заклеювання-заливання або вулкані-

зації порваних вічок. Допускається ремонт не більше 10% ситової поверхні. Краї натяжних касет з двох сторін закладені в замки, які дозволяють закріпити і одночасно натягнути сіткове полотно на вібриситі.

Серед натяжних касет класифікують односіткові, двосіткові та багатосіткові касети.

Сіткове полотно односіткової касети складається з однієї сітки. Армуються пластиком тільки крайки. Використовуються такі касети для попереднього очищення від великих фракцій.

Сіткове полотно двосіткової касети складається з двох сіток: робочої (розміри вічок задаються умовами сепарації) та сітки з великим вічком (виконує роль підтримки). Застосовують такі касети при основному та попередньому очищенні.

Сіткове полотно багатосіткової касети складається з двох і більше робочих сіток з дрібними вічками та крупної сітки. Такі сіткові полотна використовують при використанні вібраційних сит як основного апарата при очищенні бурового розчину. Сіткове полотно армується пластиковою решіткою методом спікання сіток з дрібними та великими вічками з метою додання міцності касеті та захисту дрібночарункової сітки. Це скорочує корисну площу касети, зменшує пропускну здатність, але істотно збільшує термін служби.

Каркасні касети мають жорстке кріплення сіткового полотна до рами з металевого профілю. Виготовляються такі касети наклеюванням попередньо натягнутого сіткового полотна на раму, зварену з профільної труби. Переваги такої конструкції – збільшення пропускну здатності, підвищення якості фільтрації бурового розчину, збільшення терміну експлуатації.

Закріплюються каркасні касети клинами (рисунк 3), це дозволяє швидко замінювати несправні касети та виключає можливість пошкодження нововстановленої.

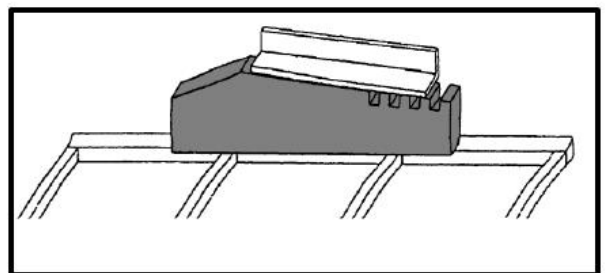


Рис. 3. Закріплення каркасних касет

Працездатність гнучких касет безпосередньо залежить від якості їх натягу: навіть невелике провисання, що виникає внаслідок «людського фактора» або дефектів конструкції призводить до припинення транспортування шламу по всій поверхні касети. Причиною цього є виникнення в погано розтягнутих місцях ситового полотна власних коливань сітки в протифазі з віброрамою. У місці провисання сітка швидко стирається та виходить з ладу. Основна перевага каркасних касет – незалежність їх працездатності від дій оператора. Добрий натяг ситової поверхні (відсутність провисань) забезпечує найкращі умови для транспортування шламу та довговічність. Ще один недолік гнучких касет – вигнута вгору робоча поверхня, яка веде до течії розчину уздовж бортів. У жорстких касетах такого недоліку не спостерігається. Єдиний недолік каркасних касет в порівнянні з гнучкими – висока вартість.

Другий напрямок розвитку конструкцій вібросит – повсюдне їх застосування в складі ситогідроциклонних сепараторів.

Ситогідроциклонний сепаратор призначений для очищення бурового розчину від частинок вибуреної породи при бурінні нафтових і газових свердловин. Застосовується в складі циркуляційних систем бурових установок всіх класів [1, 6].

Ситогідроциклонний сепаратор СГЦУ-4 представлений на рисунку 4. Установка СГЦУ-4 являє собою конструкцію, що складається з вібросита та встановлених на ній циклонних піско– та муловідділювачів. На віброситі монтуються дві гнучкі тришарові касети. Кут нахилу віброрами вібросита можна регулювати.

На цій установці використовуються гідроциклони та муловідділювачі виготовлені з поліуретану та складені з секцій, що дозволяє при промиванні замінити тільки зношену частину. Одна людина може зробити заміну зношеної частини (на відміну від металевих гідроциклонів) [6].

Третій напрямок розвитку вібросит – підвищення ефективності очищення бурового розчину за рахунок зміни типу та частоти коливань. Зараз на ринку з'явилися системи з односпрямованим еліптичними траєкторіями коливань. На закордонних віброситах це досягається або просторовим розташуванням вібраторів, або додаванням третього вібратора до наявних двох на звичайному лінійному віброситі.



Рис. 4. Ситогідроциклонна установка СГЦУ-4

Компанія M-I SWACO пропонує вібросито подвійної дії Mongoose PT (рис. 5). У ньому поєднуються технології лінійного і еліптичного рухів. При зміні умов буріння вібросито Mongoose PT може бути оперативно відрегульоване: простим переключенням перемикача на блоці керування лінійний рух вібросита змінюється на збалансовано-еліптичний. При цьому немає необхідності призупиняти пристрій або припиняти його роботу. При функціонуванні вібросита в помірному режимі збалансовано-еліптичного руху вплив сил перевантаження на шлам знижується, час перебування частинок на ситових панелях збільшується, тверда фаза надрешітного продукту ефективно зневоднюється, показники відновлення бурового розчину поліпшуються, термін служби ситових панелей збільшується, скорочуються експлуатаційні витрати [10].

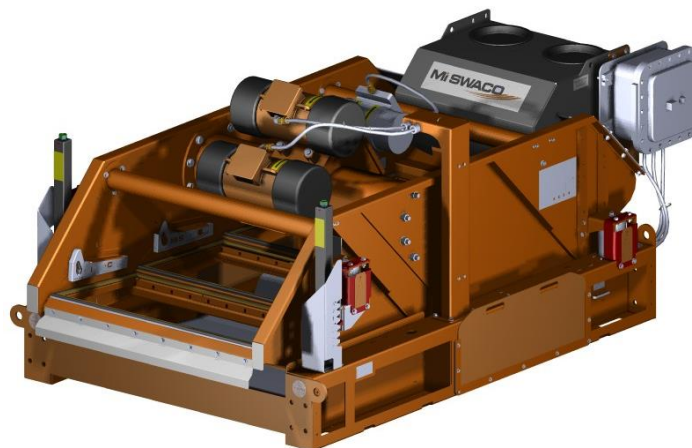


Рис. 5. Вібросито подвійної дії Mongoose PT

Четвертий напрямок розвитку вібросит – використання коливань, що відрізняються від гармонійних.

Співробітниками ДонНТУ спільно з ТОВ «НПК» УкрВіброМаш» розроблена конструкція принципово нового вібраційного сита (грохота) [12, 13] з інтенсивним бігармонійним режимом роботи ГВВБ-31 (рис. 6). Вібросито являє собою одномасову коливальну систему з двома парами інерційних віброзбуджувачів дебалансного типу, причому одна з них має можливість зміни кута дії збуджуючої сили. Змінюючи співвідношення частот обертання віброзбуджувачів, величини статичних моментів мас дебалансів кожного ступеня та кут між напрямками збуджуючих сил вібраторів, можна отримати різноманітні траєкторії руху короба вібросита [13, 14], оптимізуючи їх для вирішення конкретних технологічних задач. Крім того, багатовібраторний вібропривод забезпечує значну асиметрію віброприскорень робочого органу машини в зарезонансній зоні роботи.

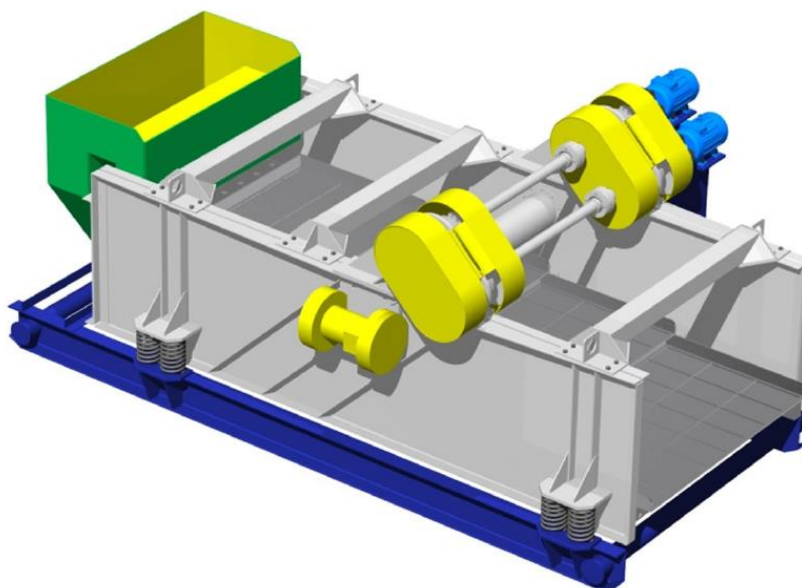


Рис. 6. Загальний вигляд вібраційного бігармонічного грохота ГВВБ-31

Грохоти типу ГВВБ призначені для очищення і регенерації бурових розчинів, а також для тонкої і надтонкої мокрої класифікації кам'яного вугілля, антрацитів, руд, продуктів збагачення, нерудних корисних копалин та багатьох інших матеріалів.

Грохот простий в експлуатації, не вимагає особливих зусиль для освоєння обслуговуючим персоналом та має ряд істотних особливостей:

- передбачено плавне регулювання кута дії збуджуючої сили високочастотного віброзбудника в широкому діапазоні;
- для інтенсифікації процесу розділення в грохоті передбачені дві промивні кишені в яких здійснюється відтирка тонких частинок від мулистих агломератів;

- для посилення цього ж ефекту в грохоті передбачена можливість установки струменевих бризговиків з високою кінетичною енергією впливу на матеріал промивної води;

- конструкція кріплення секцій сит дозволяє змінювати кут установки розвантажувальної секції сита, що забезпечує можливість регулювання швидкості руху матеріалу та часу просіювання;

- у конструкції грохота передбачено застосування сит підвищеної ефективності принципово нової конструкції.

П'ятий напрямок розвитку вібросит – використання завантажувального бункера.

Ефективність фазового розподілу на віброситах значно збільшується за умови оптимального направлення потоку промивального розчину, що подається на ситове полотно [11]. Використання завантажувального бункера обумовлює можливість керування струменем промивального розчину що подається на початок прийомної сітки, зменшення його швидкості і рівномірного розподілу по ширині сита. Висока кінетична енергія потоку веде до розбризкування промивальної рідини, швидкого зносу ситового полотна в місцях контакту з ним, що виключено при використанні завантажувального бункера.

У віброситах із завантажувальним бункером є можливість регулювання кількості промивальної рідини, яка потрапляє на сітку. Для цього використовують спеціальні жалюзі, які, переміщуючись в пазах на бункері, регулюють кількість промивальної рідини, яка подається на очищення. До того ж в конструкціях вібросит з завантажувальним бункером передбачені розподільники потоку для рівномірного розподілу потоку промивальної рідини на поверхні сітки вібросита. Наявність завантажувального бункера дозволяє накопичувати в ньому промивальну рідину, контролювати подачу на сітку та при переповненні ємності використовувати байпас. Рідина заходить в прийомний бункер знизу, що запобігає накопичуванню на дні шламу (рис. 7-10).



Рис. 7. Регульовані жалюзі механізму подачі для контролю розподілення потоку вібросита MONGOOSEPT



Рис. 8. Розподілення потоку вібросита MONGOOSEPT



Рис. 9. Регульовані жалюзі механізму подачі для контролю розподілення потоку вібросита Derrick



Рис. 10. Розподілення потоку вібросита Derrick

Такі конструкції прийомного бункера використані у сучасних високоефективних віброситах MONGOOSEPT та BEM-650 фірми M-I SWACO (рис. 7, 8) та Derrick Flo-Divider™ (рис. 9, 10).

Висновки.

1. На основі аналізу сучасних конструкцій вібраційних сит, наведена актуальна узагальнена їх класифікація за технологічними та конструктивними ознаками. Це, зокрема, дозволяє оптимізувати вибір бурових вібросит для конкретних умов експлуатації на буровій установці та спрощує вибір прийнятного варіанта комплектуючого обладнання при оснащенні нових та існуючих циркуляційних систем бурових установок.

2. Аналіз вітчизняних і зарубіжних технічних рішень вібраційних сит систем регенерації бурового розчину показує наступні основні напрямки розвитку та вдосконалення їх конструкцій: перехід від гнучких пластикових ситових касет до каркасних ситовим касет; застосування вібросит в складі ситогідроциклонних сепараторів; підвищення ефективності очищення бурового розчину за рахунок зміни типу і частоти коливань; використання законів коливань, що відрізняються від гармонійних; використання завантажувального бункера.

Список літератури

1. Булатов А.И. Справочник по промывке скважин / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, Ю.М. Проселков. – М. : Недра, 1984. – 317 с.
2. Булатов А.И. Буровые промывочные и тампонажные растворы / А.И. Булатов, П. П. Макаренко, Ю.М. Проселков. – М.: Недра, 1999.
3. Копей Б.В. Розрахунок, монтаж і експлуатація бурового обладнання / Б.В. Копей. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 446 с.
4. Басарыгин Ю.М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин / Ю. М. Басарыгин, А.И. Булатов, Ю.М. Проселков. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001. 208 с.
5. Вибрации в технике: справочник / Ред. совет: В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. – 1981. – 509 с.
6. Сайт «Укрнафтозапчастина» [Електронний ресурс]. – URL : <http://ukrnz.com.ua>

7. Лях М.М. Визначення жорсткості віброопор бурових вібросит / М.М. Лях, Н.В. Федоряк, О.О. Рейті // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.–техн. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль, 17-18 листоп. 2016) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – С. 46-47.
8. Очистка бурового раствора от шлама механическим способом. 04 июня 2013 г. [Электронный ресурс]. – URL : <https://neftegaz.ru/science/view/838-Ochistka-burovogo-rastvora-ot-shlama-mehanicheskim-sposobom> (31.10.2018).
9. Вибросита. [Электронный ресурс]. – URL: [https:// fluidspro.ru/teoriya/kontrol-soderzhaniya-tverdoj-fazy/metody-separacii-tverdych-chastich/vibrosita/](https://fluidspro.ru/teoriya/kontrol-soderzhaniya-tverdoj-fazy/metody-separacii-tverdych-chastich/vibrosita/) (31.03.2018)
10. Туктаров Д.Х. О работе систем очистки буровых растворов. Системы очистки буровых растворов. MI-SWACO, 2007 // Нефтегазовое дело: Электронный науч. журнал. – 2011. – №1. – С. 47-51.
11. Кичкарь И.Ю. Определение удельной пропускной способности сеток буровых вибросит // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – №. 6 – С. 11-14.
12. Интенсификация технологических процессов вибромашин путем реализации бигармонических режимов работы / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый, Г.Л. Резниченко // Обогащение полезных ископаемых: Науч. техн. сб. – 2009. – Вып. 36(77) – 37(78). – С. 81–89.
13. Патент Украины на изобретение № 86267, В 07 В 1/40. Инерционный грохот / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый. Заявка № а20070471. Заявл. 27.04.2007; опубл. 10.04.2009. Бюл. № 7. – 6 с.
14. Букин С.Л. Разработка высокоэффективного виброгрохота с бигармоническим режимом работы для тонкой классификации угольных шламов / С.Л. Букин, А.Н. Корчевский, С.Г. Маслов // Обогащение полезных ископаемых : Науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 41(82). – С. 121-126.
15. Baumgarten C. Mixture Formation in Internal Combustion Engines / C. Baumgarten. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2006. – 294 p.
16. Robertson J.O. Surface operations in petroleum production / J.O. Robertson, G.V. Chilingarian, S. Kumar. – New York: Elsevier Science, 1989. – 562 p.
17. Mills D. Handbook of Pneumatic Conveying Engineering / D. Mills, M.G. Jones, V.K. Agarwal. – Marcel Dekker Inc., Basel, 2004. – 676 p.
18. Pneumatic conveying of solids. A theoretical and practical approach / Klinzing G.E., Rizk F., Marcus R., Leung L.S. – Springer Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010. – 561 p.
19. Pump Handbook / Edited by I.J. Karassik, J.P. Messina, P. Cooper, C.C. Heald. – 3-rd Edition. – New York : McGRAW-HILL, 2001. – 1768 p.
20. Surface operations in petroleum production / J.O. Robertson, G.V. Chilingarian, S. Kumar. – New York: Elsevier Science, 1989. – 562 p.
21. Самилін В.М. Спеціальні методи збагачення корисних копалин / В.М. Самилін, В.С. Білецький. – Донецьк: Сх. вид. дім, 2003. – 115 с.
22. Смирнов В.О., Білецький В.С., Шолда Р.О. Переробка корисних копалин: Монографія. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. – 600 с.

© Білецький В.С., Ткаченко М.В., Бурова М.Я., 2019

*Надійшла до редколегій 24.01.2019
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*